

HOJEANDO REVISTAS

ANALOGIA DE FUERZAS HORIZONTALES EN ESTRUCTURAS PARCIALMENTE ENTERRADAS.

Por *Hugh M. O'NEIL*, ingeniero de estructuras de Donald R. Warren Co. Oakland, Calif. (Traducido de "Engineering News-Record", vol. 131, Núm. 9. Agosto 26 de 1943, págs. 66 y 67.)

Los problemas pertenecientes a los valores de empujes laterales pueden simplificarse materialmente por una aproximación un poco diferente del método tipo. Haciendo uso de una analogía en el método tipo y siguiendo el proceso matemático para deducir las ecuaciones que pueden ser expresadas en términos de las presiones horizontales del suelo, nos lleva a un método de análisis, indicado a continuación, y que es enteramente útil en sus aplicaciones prácticas.

Cuando es necesario determinar las presiones del empuje lateral del suelo, sobre un objeto parcialmente enterrado en el terreno, tales como un poste o una pila de puente, sujetos a una fuerza lateral, ciertas suposiciones teóricas deben hacerse como base para el análisis. El procedimiento usual para hacer tales suposiciones se muestra en forma de diagramas en la Fig. 1. Sobre las bases allí indicadas, las fórmulas están deducidas para valores máximos de la presión horizontal del suelo, resultantes de una carga horizontal. En estas suposiciones básicas, la resistencia del suelo a la deformación está considerada como variando directamente con la profundidad, indicada por la línea recta en la Fig. 1-b. Multiplicando la resistencia pasiva por unidad de deformación por la deformación bajo la carga dada, obtenemos la unidad de presiones laterales en el suelo.

Usando estas mismas suposiciones teóricas, puede dibujarse una analogía, como se indica en la Fig. 2, lo que simplifica considerablemente el problema, especialmente cuando se aplicó a las secciones de ancho no uniforme, como en el caso de una pila de puente con cimientto de base amplia. Si el ancho de la

sección se multiplica por el triángulo de resistencia, se obtiene una sección efectiva resultante. Esta puede ser considerada como una viga o columna sujeta a la flexión combinada y a la fuerza directa $\frac{P}{A} \pm \frac{Mc}{I}$ (La resistencia puede tomarse como 1.0 de la base para todos los casos.)

Si *M* se toma como *P* veces la distancia al centro de gravedad de la sección efectiva (Fig. 2), la "unidad de esfuerzo combinado" en cualquier punto a una distancia *r*, desde el centro de gravedad, se convierte en: $\frac{P}{A} \pm \frac{Mr}{I}$. Cuando esto está multiplicado por la resistencia en el punto en cuestión, se obtiene el valor para la unidad de presión horizontal del suelo. Fijado en forma de ecuación, esto se convierte:

$$p = \left(\frac{P}{A} \pm \frac{Mr}{I} \right) \frac{y}{D} \dots \dots \dots (1)$$

en la que:

p = unidad de presión horizontal del suelo (lbs. por pie²) (Kgs. por m²) a la profundidad *y*.

I = momento de inercia de la sección efectiva en pies⁴ (cms⁴).

A = Area de la acción efectiva en pies² (cms²).

y = profundidad en pies (cms.) al punto en que la presión horizontal del suelo va a ser determinada.

r = la distancia en pies (cms.) ya sea arriba o abajo desde el centro de gravedad de la sección efectiva hasta el punto en cuestión.

La lógica de esto se hace aparente cuando uno considera que la sección efectiva de la Fig. 2-c tiene la misma resistencia a la deformación en todos los puntos como la sección rectangular mostrada en la Fig. 1. La anterior es una sección rectangular con distribución triangular de resistencia, o módulo de elasticidad, *E*. La última es una sección triangular de constante *E*. En lo que concierne a la resistencia a la deformación, las dos cosas son idénticas. Esta es otra manera de decir que la curva de presión mostrada en la Fig. 1-e (la que es, en efecto, una curva de la resistencia a la deformación), es la misma para ambos casos. De aquí, la analogía.

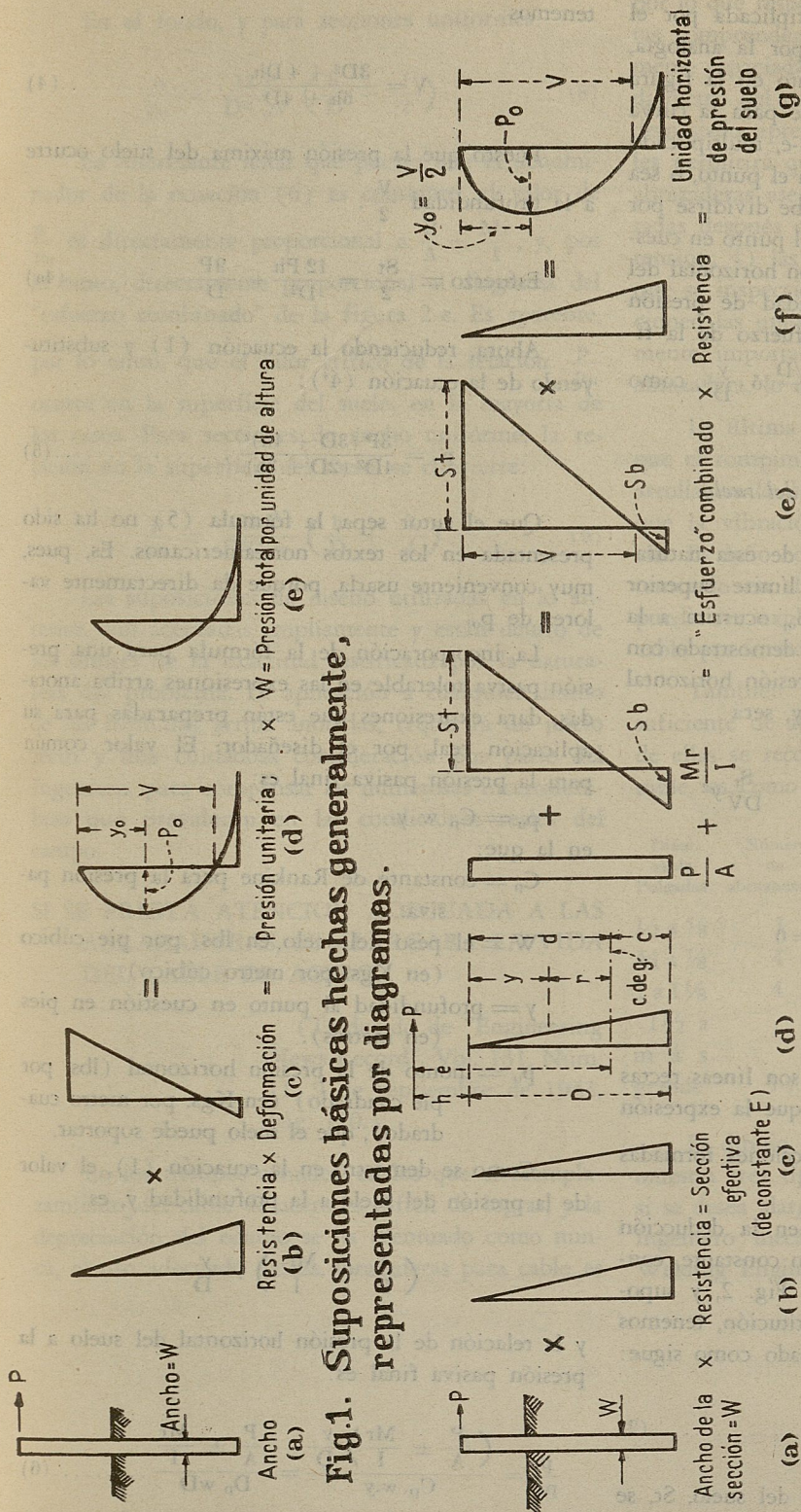


Fig. 1. Suposiciones básicas hechas generalmente, representadas por diagramas.

Fig. 2. Una analogía para simplificar la suposición de fuerzas horizontales.

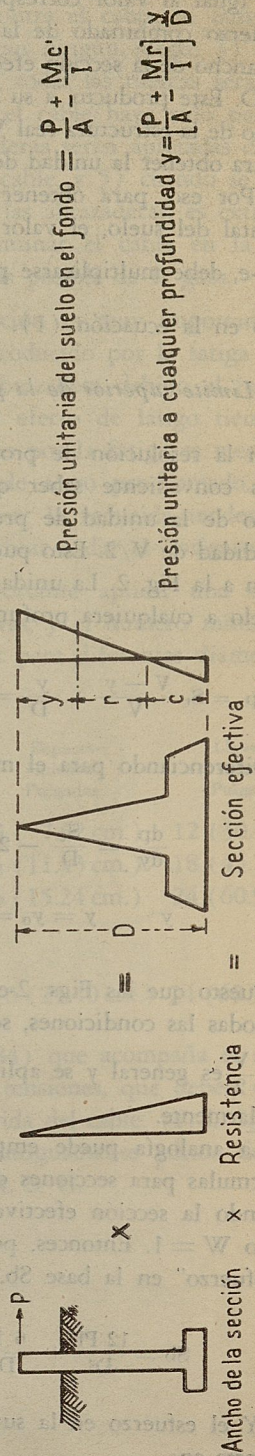


Fig. 3. Aplicación de la analogía a secciones a secciones de ancho variable.

En vista de que la Fig 1-e representa la presión total, por unidad de longitud, es igual a la curva de unidad de presión (Fig. 1-d), multiplicada por el ancho de la sección. Similarmente, por la analogía, se ve que el valor de cualquier punto en la figura 1-e, es igual al valor correspondiente para la curva de esfuerzo combinado de la Fig. 2-e, multiplicado por el ancho de la sección efectiva en el punto, o sea $W \cdot y/D$. Este producto, a su vez, debe dividirse por el ancho de la estructura real W , en el punto en cuestión para obtener la unidad de presión horizontal del suelo. Por eso, para obtener la unidad de presión horizontal del suelo, el valor del esfuerzo de la figura 2-e, debe multiplicarse por $\frac{W \cdot y/D}{W}$ ó $\frac{y}{D}$, como se hizo en la ecuación (1).

Límite superior de la presión del suelo

En la resolución de problemas de esta naturaleza es conveniente saber que el límite superior máximo de la unidad de presión, p_0 , ocurrirá a la profundidad de $V/2$. Esto puede ser demostrado con relación a la Fig. 2. La unidad de presión horizontal del suelo a cualquiera profundidad y , será

$$p = St \frac{V - y}{V} \cdot \frac{y}{D} = \frac{St}{D} y - \frac{St}{DV} y^2$$

Diferenciando para el máximo

$$\frac{dp}{dy} = \frac{St}{D} - 2 \frac{St}{VD} y = 0$$

$$y = y_0 = \frac{V}{2}$$

Puesto que las Figs. 2-e y 2-f son líneas rectas para todas las condiciones, se verá que la expresión $y_0 = \frac{V}{2}$ es general y se aplica a secciones formadas irregularmente.

La analogía puede emplearse en la deducción de fórmulas para secciones de ancho constante, considerando la sección efectiva de la Fig. 2, y suponiendo $W = 1$. Entonces, por substitución, tenemos el "esfuerzo" en la base S_b , expresado como sigue:

$$S_b = \frac{12 Ph}{D^2} + \frac{6 P}{D} \dots\dots\dots(2)$$

Y el esfuerzo en la superficie del suelo, St , se convierte en:

$$St = \frac{24 Ph}{D^2} + \frac{18P}{D} \dots\dots\dots(3)$$

Por triángulos semejantes y substituyendo valores de las ecuaciones (2) y (3), y reduciendo, tenemos:

$$V = \frac{3D^2 + 4 Dh}{6h + 4D} \dots\dots\dots(4)$$

Puesto que la presión máxima del suelo ocurre a la profundidad $\frac{V}{2}$,

$$\text{Esfuerzo} = \frac{St}{2} = \frac{12 Ph}{D^2} + \frac{9P}{D} \dots\dots\dots(4a)$$

Ahora, reduciendo la ecuación (1) y substituyendo de la ecuación (4^a):

$$p_0 = \frac{3P (3D + 4h)^2}{4D^2 (2D + 3h)} \dots\dots\dots(5)$$

Que el autor sepa, la fórmula (5) no ha sido presentada en los textos norteamericanos. Es, pues, muy conveniente usarla, porque da directamente valores de p_0 .

La incorporación de la fórmula para una presión pasiva tolerable en las expresiones arriba anotadas, dará expresiones que están preparadas para su aplicación real, por el diseñador. El valor común para la presión pasiva final es:

$$p_u = C_p w y$$

en la que:

C_p = constante de Rankine para la presión pasiva.

W = el peso del suelo en lbs. por pie cúbico (en Kgs. por metro cúbico).

y = profundidad al punto en cuestión en pies (en metros).

p_u = monto de la presión horizontal (lbs. por pie cuadrado) (en Kgs. por metro cuadrado), que el suelo puede soportar.

Como se demostró en la ecuación (1), el valor de la presión del suelo a la profundidad y , es:

$$\left(\frac{A}{P} \pm \frac{Mr}{I} \right) \cdot \frac{y}{D}$$

y la relación de la presión horizontal del suelo a la presión pasiva final es:

$$\frac{p}{p_u} = \frac{\left(\frac{P}{A} \pm \frac{Mr}{I} \right) \frac{y}{D}}{C_p \cdot w \cdot y} = \frac{\frac{P}{A} \pm \frac{Mr}{I}}{D_p w D} \dots\dots\dots(6)$$

A la profundidad " y_0 ", donde ocurre la máxima presión superior del suelo, la expresión para secciones de ancho uniforme se reduce a lo siguiente:

$$\frac{p}{p_u} = \frac{12 P}{D^2 C_p W} \left(\frac{h}{D} + \frac{3}{4} \right) \dots\dots\dots (7)$$

En el fondo, y para secciones uniformes:

$$\frac{p}{p_u} = \frac{12 P}{D^2 C_p W} \left(\frac{h}{D} + \frac{1}{2} \right) \dots\dots\dots (8)$$

Es interesante notar que puesto que el denominador de la ecuación (6) es constante, el valor de $\frac{p}{p_u}$ es directamente proporcional a $\frac{P}{A} \pm \frac{Mr}{I}$, y, por lo tanto, directamente proporcional al diagrama del "esfuerzo combinado" de la figura 2-e. Es aparente, por lo tanto, que el valor crítico de la relación $\frac{p}{p_u}$ ocurre en la superficie del suelo, en la mayoría de los casos. Para secciones de ancho uniforme, la relación en la superficie del suelo, se convierte:

$$\frac{p}{p_u} = \frac{24 P}{D^2 C_p W} \left(\frac{h}{D} + \frac{3}{4} \right) \dots\dots\dots (9)$$

Las suposiciones de diseño utilizadas en lo anterior, son aceptadas ampliamente y están dentro de los límites de la exactitud justificada por la naturaleza del problema. La aplicación a cualquier diseño de las fórmulas arriba anotadas, requerirá un juicio recto y una cuidadosa consideración por parte del Ingeniero, para compensar las numerosas incertidumbres que prevalecen en las condiciones reales del campo.

SI SE PRESTA ATENCION ADECUADA A LAS ABRAZADERAS, SE ALARGARA LA VIDA DEL CABLE DE ACERO.

(Traducido de "Engineering News-Record", Vol. 131, Núm. 11, 9 de septiembre de 1943, pág. 110.)

En los tiempos actuales, en los que el reemplazamiento del cable de acero es difícil de lograr, y la depreciación del equipo se ha acentuado como nunca, el uso adecuado de las abrazaderas para cable es

muy importante. Una vida mucho más larga del cable será posible si se toman unas pocas precauciones, por lo que respecta a las abrazaderas de un cable. Estas comprenden: 1) Las abrazaderas estarán igualmente espaciadas, aproximadamente 6 veces o más el diámetro del cable; 2) las abrazaderas no quedarán demasiado apretadas contra el cable, ni tampoco se les permitirá que tengan ningún juego; 3) con las abrazaderas aseguradas, todas las tuercas serán apretadas después de que el cable haya sido puesto en tensión; 4) las abrazaderas serán apretadas cada vez que se inspeccione el cable, y 5) cuando se inspeccionen las uniones de las abrazaderas, es extremadamente importante examinar el cable en la última abrazadera, lo más lejos posible de la gaza.

La última precaución es muy importante porque el rompimiento producido por la fatiga se desarrolla en la última abrazadera debido al hecho de que la vibración o el efecto de látigo tiene lugar allí. El daño ocasionado por la fatiga es menos pronunciado en el cable de acero pre-formado, lo que puede ser explicado por la reducida tendencia del cable pre-formado a vibrar o dar el "latigazo".

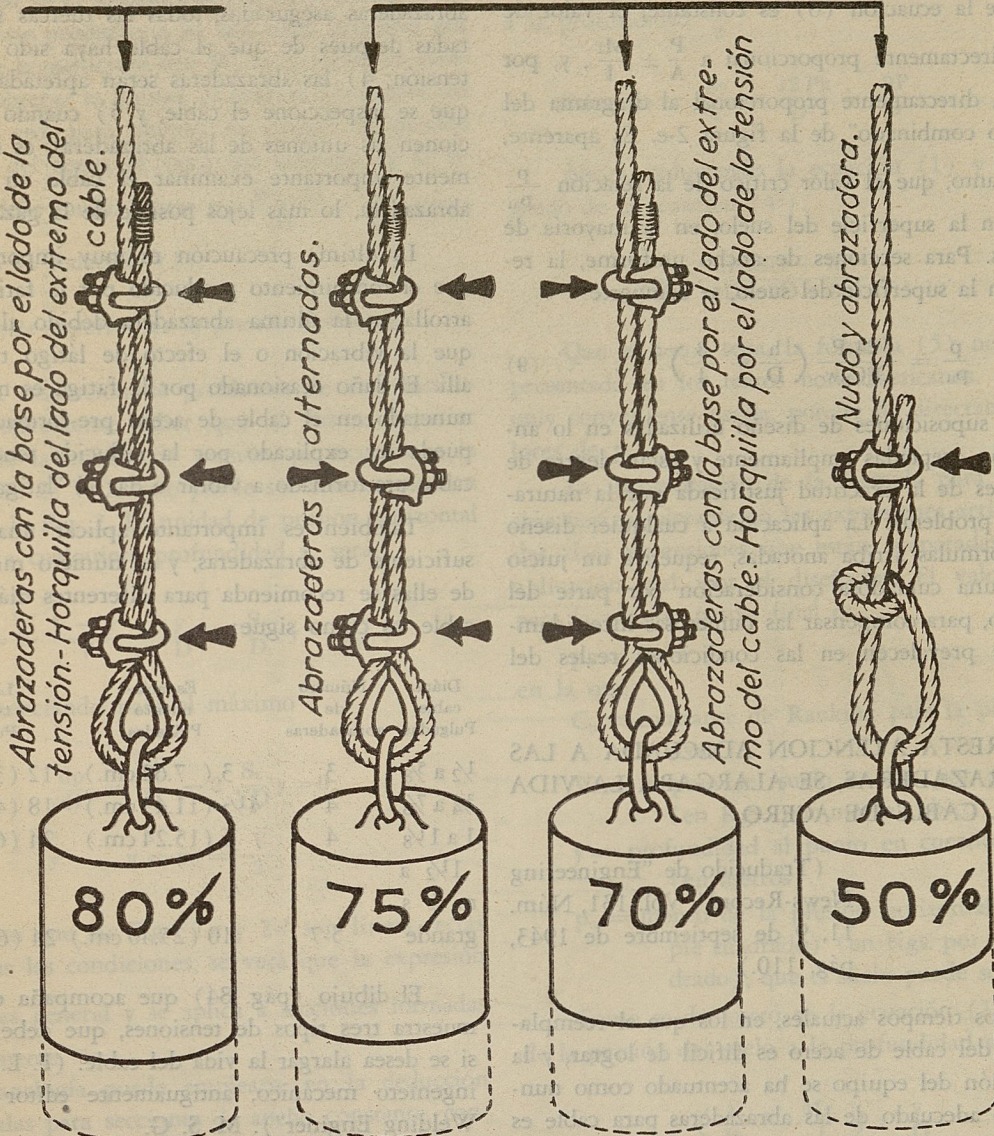
También es importante aplicar una cantidad suficiente de abrazaderas, y el número mínimo que de ellas se recomienda para diferentes diámetros de cable, es como sigue:

Diám. cable Pulgadas	Número de abrazaderas	Espaciamiento Pulgadas	Llave de tuercas Pulgadas
1/2 a 3/8	3	3 (7.62 cm.)	12 (30.48 cm.)
3/4 a 7/8	4	4 1/2 (11.43 cm.)	18 (45.72 cm.)
1 a 1 1/8	4	6 (15.24 cm.)	24 (60.96 cm.)
1 1/2 a más grande	5-7	10 (25.40 cm.)	24 (60.96 cm.)

El dibujo (pág. 84) que acompaña el artículo muestra tres tipos de tensiones, que deben evitarse si se desea alargar la vida del cable. (F. L. Spangler, ingeniero mecánico, antiguamente editor de "The Welding Engineer"). M. S. G.

CORRECTO

INCORRECTOS



Abrazaderas con la base por el lado de la tensión-Horquilla del lado del extremo del cable.

Abrazaderas alternadas.

Abrazaderas con la base por el lado de la tensión-Horquilla por el lado de la tensión

Nudo y abrazadera.

80%

75%

70%

50%

Porcentaje de eficiencia, que varía según la forma de hacer los amarres. *S. Barocio*